



PATENT

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as First Class mail in an envelope addressed to: Mail Stop Patent Application, Commissioner for Patents, Alexandria, VA 22313-1450 on

December 10, 2003

Eleanor J. Halik

Eleanor J. Halik

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

U.S. Serial No. 10/616,457
(Attorney Docket No. GP-301716)

Filed: July 9, 2003

Manfred Herrmann

Group Art Unit: 1745

Method and Apparatus for the
Investigation of a Fuel Cell System

Examiner: N/A

Priority Application Germany 102 31 208.7 filed July 10, 2002

TRANSMITTAL OF CERTIFIED COPY OF FOREIGN APPLICATION

Commissioner for Patents
Alexandria, VA 22313-1450

Please enter the enclosed certified copy of German Patent Application Serial No. 102 31 208.7 filed July 10, 2002 in the file of the subject US application.

Respectfully submitted,

Cary W. Brooks
Reg. No. 33361
313/665-4717

Enclosure

Detroit, MI 48265-3000

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 31 208.7
Anmeldetag: 10. Juli 2002
Anmelder/Inhaber: General Motors Corporation,
Detroit, Mich./US
Bezeichnung: Verfahren zur Untersuchung eines Brennstoff-
zellensystems
IPC: G 01 M 19/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 05. Juni 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Weihmayr', written over the text 'Im Auftrag'.

Weihmayr

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Untersuchung eines Brennstoffzellensystems bestehend aus mindestens einer Brennstoffzelle mit einer Anodenseite, der im Betrieb ein Brennstoff zugeführt wird und einer Kathodenseite, die von der Anodenseite durch eine Membran getrennt ist und der im Betrieb ein Oxidationsmittel zugeführt wird, um mindestens eine der nachfolgenden Prüfungen durchzuführen:

- a) zu prüfen, ob das Brennstoffzellensystem auf der Anodenseite und/oder auf der Kathodenseite gasdicht ist,
- b) zu prüfen, ob eine Leckage zwischen der Anodenseite und der Kathodenseite des Brennstoffzellensystems gegeben ist,
- 15 c) das Anlassverhalten des Brennstoffzellensystems zu prüfen,
- d) den Betrieb des Brennstoffzellensystems bei niedriger Stromausbeute zu prüfen.

Ferner betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Untersuchung eines Brennstoffzellensystems zur Durchführung einer der oben angegebenen Prüfungen.

Die Prüfung eines Brennstoffzellensystems im Hinblick auf mögliche Leckagen sowie beim erstmaligen Anlassen nach Fertigstellung des Brennstoffzellensystems bzw. nach einer durchgeführten Reparatur eines Fahrzeugs oder anderer Einrichtungen, die im Brennstoffzellensystem integriert sind bzw. bei erstmaliger Inbetriebnahme eines Fahrzeuges oder eines Gerätes, in dem ein Brennstoffzellensystem eingebaut ist, sowie während der Entwicklung eines Brennstoffzellensystems benötigt eine Wasserstoffquelle sowie ausführliche Prüfungen. Die Prüfung mit Wasser-

stoff erfordert sehr aufwendige Maßnahmen in den Prüfräumen. Zum Beispiel müssen solche Prüfräume mit Belüftungssystemen ausgestattet werden, die bei hohen Luftdurchsätzen arbeiten. Es sind verschiedene Wasserstoffdetektoren sowie zusätzliche Abschaltanlagen erforderlich, um etwaige Wasserstoffleckagen zu detektieren und im Falle einer festgestellten Leckage den Prüfraum sowie die gesamte darin vorhandene Installation abzuschalten. Darüber hinaus müssen sämtliche elektrische Anlagen, die sich in den Prüfräumen befinden, besonders gegen Funkenbildung geschützt werden, um Wasserstoffexplosionen zu verhindern. Nur gut ausgebildete, besonders geschulte Personen können und dürfen unter solchen Bedingungen in den entsprechenden Prüfräumen arbeiten.

Selbst wenn bei der Entwicklung von Brennstoffzellensystemen und Fahrzeugen und Geräten, die solche Brennstoffzellensysteme beinhalten, solche aufwendigen Maßnahmen in Prüfräumen bereits getroffen worden sind, wird die Massenherstellung von Brennstoffzellensystemen bzw. von Fahrzeugen oder anderen Geräten, die solche Brennstoffzellensysteme beinhalten, kaum mit den gegenwärtigen Maßnahmen durchführbar sein und es besteht auch eine besondere Problematik, wenn beispielsweise ein Fahrzeug mit einem Brennstoffzellensystem zukünftig in einer Autowerkstatt repariert werden muss.

Für die gegenwärtige Leckageprüfungen an Brennstoffzellensystemen wird Helium anstelle von Wasserstoff verwendet, da dies ähnliche Diffusionseigenschaften wie der bevorzugte Brennstoff, d.h. Wasserstoff hat, relativ dünnflüssig ist und es ermöglicht, vorhandene Leckagen mit Heliumdetektoren zu erfassen. Für Tests, die sich mit dem Anlassen oder der Inbetriebnahme von Brennstoffzellensystemen bzw. Fahrzeugen oder Geräten mit Brennstoffzellensystemen befassen, ist es aber erforderlich, das System mit Wasserstoff zu prüfen, wodurch die oben erwähnten aufwendigen

Maßnahmen getroffen werden müssen, um die Möglichkeit einer explosiven Gasmischung im Falle einer unbeabsichtigten Wasserstoffleckage zu vermeiden.

- 5 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung der eingangs genannten Art vorzusehen, das bzw. die es ermöglicht, mit Wasserstoff oder anderen Brennstoffen zu arbeiten und dennoch besonders aufwendige Maßnahmen im jeweiligen Prüfraum mit Sicherheit zu vermeiden, wobei die erforderlichen Arbeiten von weniger gut ausgebildeten bzw. geschulten Personen durchführbar sein sollen.

- Um diese Aufgabe verfahrensmäßig zu lösen, wird erfindungsgemäß vorgesehen, dass die jeweilige Prüfung mit einer Mischung mindestens eines Inertgases mit mindestens einem für den Betrieb der Brennstoffzellen
 15 zulässigen Brennstoff durchgeführt wird, die der Anodenseite des Brennstoffzellensystems zugeführt wird und die Mischung so gewählt wird, dass der Anteil an Brennstoff unterhalb eines Wertes liegt, bei dem die Mischung in Luft entflammbar ist.

- 20 Vorrichtungsmäßig zieht die Erfindung vor, dass die Vorrichtung aus folgenden Bauteilen besteht: aus einer Einrichtung, die eine Mischung mindestens eines Inertgases mit mindestens einem für den Betrieb der Brennstoffzelle(n) zulässigen Brennstoff liefert, aus einer Anschlussleitung, die von dieser Einrichtung zu einem Einlass auf der Anodenseite der
 25 Brennstoffzelle(n) führt und aus einer Einrichtung, die ausgelegt ist, zu ermitteln, ob die Gasmischung in unzulässiger Weise entweicht.

- Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass für Gasmischungen, die aus einem brennbaren Gas und einem Inertgas bestehen, es stets eine
 30 Mischung mit einem bestimmten Anteil vom brennbaren Gas gibt, die in

Luft als nicht mehr zündfähig gilt. Es wird in diesem Zusammenhang auf die ISO-Norm 10156 verwiesen. Ferner beruht die Erfindung auf der Erkenntnis, dass es möglich ist, ein Brennstoffzellensystem mit einer entsprechenden Gasmischung mit einem niedrigen Anteil an Brennstoff in der Gasmischung zu betreiben und dennoch nützliche Information über etwaige vorhandene Leckagen bzw. Leistungsdaten des Brennstoffzellensystems zu gewinnen.

Die Erfindung führt zu einer Reihe von Vorteilen, unter anderem:

- das gesamte System kann für Leckagen geprüft werden, in einer Umgebung, die nicht als explosionsgeschützt gilt,
- das Brennstoffzellensystem kann anfänglich mit beschränkter Leistungsabgabe (elektrische Leistungsabgabe) in einer Umgebung betrieben werden, die nicht als explosionsgeschützt gilt,
- keine besonderen Ausgaben sind erforderlich, um bestehende Prüfstände und Räumlichkeiten für Fahrzeuge zu modifizieren, um Brennstoffzellenfahrzeuge zu prüfen,
- der Bedarf an Umgebungen, die explosionsgeschützt sind und besondere Anlassvorkehrungen benötigen, können wesentlich reduziert werden,
- das Anlassen von Brennstoffzellensystemen bzw. Fahrzeugen bzw. Geräten mit Brennstoffzellensystemen kann weitgehend von Personen durchgeführt werden, die keine besondere Ausbildung in Bezug auf wasserstoffgefährdete Umgebungen benötigen,
- Wasserstoffleckagen können auch bei Verwendung einer Gasmischung mit einem Inertgas einfach unter Anwendung von herkömmlichen, auf dem Markt erhältlichen Wasserstoffsensoren detektiert werden,
- unbeabsichtigte Ansammlungen von Wasserstoff werden vermieden,

- ein Risiko, das von der Zündung von Wasserstoff ausgeht, ist nicht gegeben, selbst bei schwerwiegenden Fehlerquellen, wie platzende Bauteile, die zu einer exzessiven Freigabe der Testgasmischung führen,
- das gesamte Verfahren wird wesentlich sicherer mit entsprechenden Vorteilen,
- ein relativ billiges Prüfgas kann verwendet werden, wodurch weitere Kostenersparnisse möglich sind.

Nur eine Gasart, nämlich die Gasmischung, muss dem System zugeführt werden, so dass Leckageprüfungen und Anlassprüfungen mit diesem einen Gas durchgeführt werden können, und zwar auch zeitgleich, wodurch weitere Kostenersparnisse erzielbar sind.

Es könnte höchstens eventuell notwendig werden, Behälter, die zum Brennstoffzellensystem gehören und im normalen Betrieb für die Wasserstoffspeicherung bei tiefen Temperaturen sorgen, mit einem Inertgas, wie Helium, zu spülen oder zu verhindern, dass das Testgas in diesen Behälter kommt.

Besonders günstig ist es, wenn das Verfahren durchgeführt wird mit einer Gasmischung, die Stickstoff für das Inertgas und Wasserstoff für den Brennstoff enthält, wobei die Mischung weniger als 5,7 Vol.-% bzw. mol.-% Wasserstoff und Stickstoff enthalten muss. Besonders günstig ist es, wenn als Mischung Formiergas mit zumindest im Wesentlichen 95 % N_2 und 5 % H_2 verwendet wird. Formiergas ist bereits bei der Herstellung von Halbleitern in entsprechenden Industrieanlagen verwendet und daher preisgünstig erhältlich.

Das Verfahren wird üblicherweise in einer Umgebung mit normaler Belüftung durchgeführt. Das Verfahren kann so durchgeführt werden, dass die

Prüfungen a), b), c) und/oder d) während oder nach der Herstellung eines das Brennstoffzellensystem als Antriebsquelle verwendenden Fahrzeugs durchgeführt werden, um die Betriebsfähigkeit des Fahrzeugs zum Zeitpunkt der Herstellung zu prüfen. Ferner kann das Verfahren in einer

- 5 Werkstatt nach Reparatur eines Brennstoffzellenfahrzeugs durchgeführt werden, so dass auch Werkstätten, die für die Reparatur von Pkws mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren ausgerüstet sind, ohne weiteres auch Brennstoffzellenfahrzeuge reparieren können.

- 10 Das Verfahren kann aber auch zu einem Zeitpunkt, bei dem das Brennstoffzellensystem als Modul vorliegt, durchgeführt werden. Es kann daher bereits bei der Herstellung des Brennstoffzellensystems vor dem Einbau des Moduls in ein Kraftfahrzeug oder in eine andere Installation durchgeführt werden. Das Verfahren kann aber auch an einem Prüfstand bei der
- 15 Entwicklung eines Brennstoffzellensystems durchgeführt werden. Wenn mehrere Brennstoffzellen zu einem Brennstoffzellenstapel zusammengesetzt sind, kann die Prüfung oder die Prüfungen am Brennstoffzellenstapel vorgenommen werden.

- 20 Eine Möglichkeit, das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen und Leckagen festzustellen, insbesondere die Prüfung a) durchzuführen, besteht darin, die Gasmischung bis zu einem vorgebbaren Prüfdruck, der beispielsweise bis zum Faktor 2 über dem vorgesehenen Betriebsdruck liegt, in das Brennstoffzellensystem durch einen vorgesehenen Eingang bei
- 25 zeitgleichem oder vorherigem oder nachherigem Schließen aller sonstigen Ein- und Ausgänge aus denen der Austritt der Gasmischung in Frage käme, einzuführen und zu messen, ob der Prüfdruck als Funktion der Zeit unzulässig nachlässt.

Es besteht auch die Möglichkeit, die Gasmischung in das Brennstoffzellensystem einzuspeisen und die eingespeiste Gasmenge zu messen, alle relevanten ein- und ausschaltbaren Ventile sowie alle Regelventile nach einem vorgegebenen Muster bzw. in einer vorgegebenen Reihenfolge ein- und auszuschalten und die Summe der durch die vorgesehenen Leitungen aus dem Brennstoffzellensystem austretenden Gasmengen zu messen und mit der eingespeisten Gasmenge zu vergleichen, um etwaige Leckagen, die sich als Differenzwert darstellen, festzustellen. Bei diesen Prüfungen kann die zeitliche Entwicklung des Differenzwertes mit einem vorgegebenen Muster verglichen werden, um eventuell vorhandene Leckagen einer Leckagequelle oder mehrerer Leckagequellen zuzuordnen. Das Verfahren kann auch so durchgeführt werden, dass die Brennstoffzellen bei der Durchführung der Prüfung oder vor der Durchführung der Prüfung auf Betriebstemperatur bzw. auf eine maximal zulässige Übertemperatur erwärmt werden. Jedoch wird berücksichtigt, dass Leckagen im Betrieb eher zu erwarten sind, wenn das Brennstoffzellensystem die Betriebstemperatur erreicht oder überschritten hat.

Bei der Entwicklung eines Brennstoffzellensystems kann mindestens ein Langzeittest unter Anwendung des Verfahrens durchgeführt werden. Ein solcher Langzeittest umfasst beispielsweise eine Vielzahl von Ein- und Ausschaltvorgängen von ein- und ausschaltbaren Ventilen sowie Regelwertänderungen von Regelventilen. Ein solcher Langzeittest kann auch eine Vielzahl von Erwärmungen und Abkühlungen des Brennstoffzellensystems umfassen, die beispielsweise die ständige Anwärmung und Abkühlung von Brennstoffzellensystemen in Kraftfahrzeugen bei der Benutzung von Kraftfahrzeugen simulieren, da Leckagen aufgrund der Temperaturzyklen eher zu erwarten sind.

Eine besondere Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt darin, eine Zuordnung zu entwickeln zwischen der vom Brennstoffzellensystem erzeugten elektrischen Leistung bei Zufuhr einer vorgegebenen Menge der Gasmischung an das Brennstoffzellensystem und der Leistungsabgabe des gleichen Brennstoffzellensystems bzw. eines Brennstoffzellensystems der gleichen Art bei Zufuhr der in Betrieb bei einem vorgegebenen Betriebspunkt oder bei mehreren vorgegebenen Betriebspunkten (charakteristische diskontinuierliche Messungen) vorgesehenen Brennstoffmenge bzw. -mengen, wobei geprüft wird, ob die bei der Zufuhr der Gasmischung erzeugte Leistungsabgabe der erwarteten Leistungsabgabe entspricht, woraus geschlossen wird, dass im Betrieb bei Zufuhr der vorgesehenen Brennstoffzellenmenge die gewünschte elektrische Leistung bei dem vorgegebenen Betriebspunkt oder bei den vorgesehenen Betriebspunkten zu erwarten ist.

Diese Art der Prüfung zielt darauf, eben eine vorbestimmte Menge, sprich Gewicht, der Gasmischung, dem Brennstoffzellensystem zuzuführen und dieses solange arbeiten zu lassen, bis diese Gasmischung vollständig oder zu einem vorbestimmten Teil verbraucht ist.

Eine andere Möglichkeit, eine ähnliche Prüfung durchzuführen, liegt darin, eine Zuordnung zu entwickeln zwischen der vom Brennstoffzellensystem erzeugten elektrischen Leistung bei Zufuhr eines vorgegebenen Durchsatzes (Massenstroms) der Gasmischung an das Brennstoffzellensystem und der Leistungsabgabe des gleichen Brennstoffzellensystems bzw. eines Brennstoffzellensystems der gleichen Art bei Zufuhr des im Betrieb bei einem vorgegebenem Betriebspunkt oder bei mehreren vorgesehenen Betriebspunkten vorgesehenen Brennstoffdurchsatzes (kontinuierliche Messung), wobei geprüft wird, ob die bei Zufuhr der Gasmischung erzeugte Leistungsabgabe der erwarteten Leistungsabgabe entspricht,

woraus geschlossen wird, dass im Betrieb bei Zufuhr der vorgesehenen Brennstoffmenge die gewünschte elektrische Leistung bei dem vorgegebenem Betriebspunkt oder bei den vorgesehenen Betriebspunkten zu erwarten ist.

5

Bei der Durchführung dieser Prüfungen kann bei der Zufuhr der vorgegebenen Menge der Gas Mischung bewusst eine andere Arbeitsweise gewählt werden als im Betrieb mit der vorgesehenen Brennstoffmenge für den entsprechenden Arbeitspunkt. Wird beispielsweise während des Betriebs eine Rezirkulation des zugeführten Brennstoffs auf der Anodenseite vorgenommen, kann bei der Prüfung auf eine solche Rezirkulation verzichtet werden. Diese Variante berücksichtigt, dass das Vorhandensein des Inertgases ohnehin für die Prüfung der Leistungsabgabe ungünstig ist und beispielsweise im Falle einer Rezirkulation die Konzentration des Inertgases noch ansteigen wird aufgrund des Stickstoffs, der von der Kathodenseite des Brennstoffzellensystems zu der Anodenseite durch die entsprechenden Membrane wandert. Durch die Vermeidung der Rezirkulation während der Prüfung des Brennstoffzellensystems kann dieser ungünstigen Entwicklung entgegengetreten werden, da etwaiger Stickstoff, der von der Kathodenseite zu der Anodenseite hindurchdiffundiert, mit dem Abgasstrom der Anodenseite des Brennstoffzellensystems gleich mit abgeführt wird und kann daher zu keiner erhöhten Stickstoffkonzentration führen.

15

20

Obwohl das Vorhandensein des Inertgases zu einer deutlichen Herabsetzung der Leistungsfähigkeit des Brennstoffzellensystems führt, können erfindungsgemäß dennoch Korrelationen, d.h. die oben erwähnten Zuordnungen, aufgestellt werden, die es ermöglichen, Rückschlüsse über die Leistung des Brennstoffzellensystems im normalen Betrieb mit normalem Brennstoff und dem Betrieb unter den Prüfbedingungen zu ziehen, die

30

Aussagen auf die Qualität und Funktionsfähigkeit des geprüften Brennstoffzellensystems im normalen Betrieb erlauben.

5 Eine weitere erfindungsgemäße Möglichkeit der Durchführung des Verfahrens besteht darin, dass nach erfolgreich abgeschlossener Prüfung mit der Gasmischung der Anteil an Brennstoff erhöht wird und eine erneute Prüfung durchgeführt wird, bspw. ob eine höhere oder die volle Leistungsabgabe des Brennstoffzellensystems ohne Inertgasanteil oder bei deutlich oder progressiv reduziertem Inertgasanteil erreichbar ist.

10 Eine andere Möglichkeit Leckagen festzustellen, liegt darin, mindestens einen Brennstoffsensor und/oder Inertgassensor zu verwenden, um etwaige Leckagen der Gasmischung festzustellen.

15 Besonders bevorzugte Varianten der Erfindung werden nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnung näher erläutert, die in schematischer Form ein Brennstoffzellensystem 10 zeigt, das entsprechend der Erfindung ausgelegt ist.

20 Das Bezugszeichen 12 deutet auf den Brennstoffzellenstapel, der aus mehreren einzelnen Brennstoffzellen besteht, die schematisch mit 14 gekennzeichnet sind. Der Brennstoffzellenstapel 12 weist eine Anodenseite 16 mit Anodeneingang 18 und Anodenausgang 20 sowie eine Kathodenseite 22 mit Kathodeneingang 24 und Kathodenausgang 26 auf.

25

In an sich bekannter Weise weist jede einzelne Brennstoffzelle 14 eine Anode, eine Kathode und dazwischen eine Membran (nicht gezeigt) auf, wobei jede so genannte MEA (Membrane Electrode Assembly) bestehend aus einer Anode, einer Kathode und einer dazwischen angeordneten

30 Membran, zwischen zwei so genannten bipolaren Platten gehalten ist

(ebenfalls nicht gezeigt). Zwischen der einen bipolaren Platte und der Kathode sind Strömungskanäle für Sauerstoff oder Luftsauerstoff vorgesehen, während zwischen der anderen bipolaren Platte und der Anode ebenfalls Strömungskanäle vorgesehen sind, die für die Zufuhr von Wasserstoff an die Anode sorgen.

Die Strömungskanäle auf der Anodenseite der Brennstoffzellen sind zusammengeschaltet, damit im Betrieb alle Brennstoffzellen gleichzeitig mit Brennstoff über den Anodeneingang 18 versorgt werden können, wobei überschüssiger Wasserstoff sowie andere Abgase der Brennstoffzellen, wie beispielsweise Wasser in Dampfform und Stickstoff, der von dem auf der Kathodenseite gelieferten Luftsauerstoff kommt, aus dem Brennstoffzellenstapel am Anodenausgang 20 über die Leitung 55 herausgeführt werden können. Die Durchströmung der Anoden der zusammen geschalteten Brennstoffzellen ist schematisch in der Figur mit der Linie 28 gezeigt. In ähnlicher Weise sind die Strömungspassagen auf der Kathodenseite der Brennstoffzellen zusammen geschlossen, um einen Strömungspfad 30 vom Kathodeneingang 24 zum Kathodenausgang 26 im Brennstoffzellenstapel 12 zu bilden, wobei die auf der Kathodenseite 22 anfallenden Abgase über die Leitung 25 in die Atmosphäre abgegeben werden können. Die bipolaren Platten der einzelnen Brennstoffzellen 14 sind in Reihe und/oder parallel zueinander geschaltet. Im Betrieb entsteht eine Spannung an den zwei Ausgangsklemmen 32 und 34. Diese Spannung steht nicht dargestellten Einrichtungen, z.B. für den Antrieb eines Kraftfahrzeugs, in dem das Brennstoffzellensystem eingebaut ist sowie für den Antrieb von anderen Aggregaten, die zum Betrieb des Brennstoffzellensystems notwendig sind, als Leistungsquelle zur Verfügung.

Die Auslegung von Brennstoffzellenstapeln bzw. der darin enthaltenen Brennstoffzellen sind bestens aus verschiedenen Schriften bekannt, so

dass es nicht notwendig ist, hier näher auf die konkrete Auslegung des Brennstoffzellenstapels einzugehen.

Wesentlich ist, dass der Anodenseite 16 des Brennstoffzellenstapels 12 ein
 5 gasförmiger Brennstoff zugeführt werden muss, wobei im Falle der Verwendung von Wasserstoff als Brennstoff der Wasserstoff von einer Quelle, hier in Form eines Wasserstofftanks 36, entnommen wird. Konkret kommt der Wasserstoff vom Wasserstofftank 36 über ein mechanisches Druckregelventil 38 sowie über ein Solenoid betätigtes Abschaltventil 40 und ein
 10 manuell betätigbares Absperrventil 42 zu einem Stellventil 44, das den frischen Wasserstoff über eine Leitung 46 dem Anodeneingang 18 des Brennstoffzellenstapels 12 zuführt. Anstatt einen Wasserstofftank 36 als Wasserstoffquelle zu benutzen, konnte ein wasserstoffreiches Synthesegas von einer Reformiereinheit (nicht gezeigt) als Wasserstoffquelle dienen.

15

Im Betrieb wird das Stellventil 44 bei geöffneten Ventilen 40 und 42 je nach der vom Fahrer des Kraftfahrzeugs geforderten Leistung über eine Steuerung 48 angesteuert, um den erforderlichen Massenstrom an frischem Wasserstoff in die Anodenseite des Brennstoffzellenstapels 12
 20 einzuspeisen.

20

Gleichzeitig mit der lastabhängigen Ansteuerung des Stellventils 44 durch die Steuerung 48 wird über die Steuerung 48 ein Elektromotor 50 angesteuert, der einen Kompressor 52 antreibt und Luftsauerstoff über eine
 25 Leitung 54 und den Kathodeneingang 24 in die Kathodenseite 22 des Brennstoffzellenstapels 12 einspeist.

30

Im Brennstoffzellenstapel 12 wandern Protonen, die vom zugeführten Wasserstoff geliefert werden, von der Anodenseite 16 der einzelnen Brennstoffzellen durch die Membran zu der Kathodenseite 22 und reagieren an

dort vorgesehenen Katalysatoren mit dem zugeführten Luftsauerstoff, um Wasser zu bilden. Diese Reaktion führt dazu, dass elektrische Spannungen an den Bipolarplatten entstehen, die in summierter Form für die an den Klemmen 32 und 34 abnehmbare Leistung sorgen.

5

Während der elektro-chemischen Reaktion in den einzelnen Brennstoffzellen diffundieren Stickstoffmoleküle von der Kathodenseite zur Anodenseite und verlassen die Anodenseite 16 über den Anodenausgang 20 zusammen mit dem unverbrauchten Wasserstoff und Wasserdampf. Diese Anodenabgase können kontinuierlich über ein Anodenabgasventil 56 abgelassen werden. Sie werden dann normalerweise zur Wärmegewinnung über eine Leitung 57 einem katalytischen Brenner (nicht gezeigt) zugeführt und dort mit Luftsauerstoff zur Erzeugung von Wärme umgesetzt, wobei die nach dem Brenner vorhandenen Abgase bestehend aus Stickstoff und Wasserdampf bedenkenlos in die Atmosphäre abgegeben werden können. Die Anodengase können auch einer Reformiereinheit zugeführt werden und dort für die Wärmeerzeugung ausgenutzt werden, wenn eine solche Reformiereinheit zur Anwendung gelangt. Das Anodenabgasventil 56 kann aber auch diskontinuierlich geöffnet werden, um von Zeit zu Zeit Abgase aus dem Brennstoffzellenstapel 12 abzulassen, beispielsweise dann, wenn die Stickstoffkonzentration auf der Anodenseite des Brennstoffzellenstapels 12 auf ein Niveau angestiegen ist, bei dem der effiziente Betrieb des Brennstoffzellenstapels leiden würde. Es ist auch bekannt, die Anodenabgase der Kathodenseite 22 des Brennstoffzellenstapels 12 zuzuführen, damit der Wasserstoffanteil auf der Kathodenseite direkt mit Sauerstoff zu Wasser reagiert und auf diese Weise entsorgt wird, wobei die vorliegende Erfindung auch mit einem solchen System anwendbar ist.

15

20

25

30

Es besteht aber auch die Möglichkeit, eine Rückführleitung zwischen dem Anodenausgang 20 und dem Anodeneingang 18 vorzusehen, und zwar mit

einer Pumpe 60, die dafür sorgt, dass die rückgeführten Gase ein angepasstes Druckniveau am Anodeneingang 18 aufweisen, um die Strömung aufrecht zu erhalten. Auch bei Anwendung einer solchen Rückführung oder Rezirkulation kann ein Anteil der Anodenabgase entweder kontinuierlich oder diskontinuierlich über das Anodenabgasventil 56 und die
 5 Leitung 57 abgelassen werden.

In der Figur sind der Wasserstofftank 36, das mechanische Druckregelventil 38, das Solenoid betätigte Abschaltventil 40 sowie das manuell betätigbare Absperrventil 42 in einem Rahmen 62 gezeigt. Da dieses Teil häufig von spezialisierten Zulieferern geliefert wird, ist es an sich bekannt.

Das mechanische Druckregelventil 38 sorgt dafür, das höhere Druckniveau P3 im Wasserstofftank 36, das beispielsweise bei 350 Bar liegen
 15 kann, auf ein niedrigeres Druckniveau P2, das beispielsweise nur etwas über 1 Bar liegen kann, herunter zu regeln.

Bei einem solchen mechanischen Druckregelventil wird über eine Justierschraube 64 eine Feder 66, die eine Kraft auf einen Kolben ausübt, vorgespannt. Der Kolben treibt beispielsweise dann ein Ventilglied an, das mit einem Gegenstück oder Ventilsitz (nicht gezeigt) im mechanischen Druckregelventil zusammenarbeitet und die eigentliche Regelfunktion ausübt. Solche mechanischen Druckregelventile verfügen normalerweise über einen Anschluss an die Atmosphäre, der als Referenzdruck dient.

25

Bei manchen Systemen 62, wie sie vom Zulieferer erhalten werden können, wird auf der Tankseite des Druckregelventils ein zweites mechanisches Druckregelventil in Reihe mit dem hier gezeigten mechanischen Druckregelventil 38 vorgesehen, da es schwierig ist, mit einem mechanischen Druckregelventil die Herabsetzung des Drucks P3 von etwa 350 Bar
 30

auf etwas über 1 Bar zu realisieren. Wenn ein zweites mechanisches Druckregelventil vorgesehen ist, ist es auch vorgesehen, eine Steuerleitung von der Ausgangsseite des mechanischen Druckregelventils 38 auf den Referenzeingang des zweiten Druckregelventils zu führen.

5

Eine Steuerleitung 70 führt in diesem Beispiel von der Ausgangsseite des Stellventils 44 zum Referenzdruckeingang des Druckregelventils 38, so dass, wenn der Druck an der Brennstoffzellenseite des Stellventils 44 fällt, der Referenzdruck am mechanischen Druckregelventil 38 ebenfalls fällt.

Da die Kraft vom Referenzeingang in die gleiche Richtung wirkt wie die Feder, führt dies dazu, dass der Ausgangsdruck P2 des mechanischen Druckregelventils 38 und daher auch der Druck auf der Eingangsseite des Stellventils 44 ebenfalls fällt, wodurch die Druckdifferenz am Stellventil 44 zwischen dessen Eingangs- und Ausgangsseite kleiner wird. Hierdurch

15 wird der Druckdifferenzbereich, der vom Stellventil 44 beherrscht werden muss, stets klein gehalten, was die Anforderungen an das Stellventil 44 herabsetzt. Dies bedeutet nicht, dass die Druckdifferenz selbst klein sein muss, sondern dass die Schwankungen der Druckdifferenz stets klein gehalten werden sollen.

20

Im Betriebsmodus, mit dem elektromagnetisch betätigbaren Abschaltventil 40 und dem Absperrventil 42 offen, fordern die Anoden der Brennstoffzellen je nach Lastanforderung Wasserstoffgas an. Dieses Wasserstoffgas wird von dem Ventil 44 eingestellt.

25

Alternativ kann die Steuerleitung 70 des Druckregelventils 38 auch an einen beliebigen Punkt auf der Kathodenseite des Brennstoffzellensystems angeschlossen werden. Voraussetzung hierfür ist, dass sich das Druckniveau der Kathode mit der Anode Phasengleich ändert, d.h., die Druckdifferenz zwischen Kathode und Anode bis auf Sensorfehler konstant bleibt.

30

Verschiedene Möglichkeiten, die Steuerleitung 70 an das Brennstoffzellensystem anzuschließen, sind durch die Stichleitungen, die mit dem Bezugszeichen 70A, 70B, 70C, 70D, 70E und 70F bezeichnet sind, angedeutet.

Zum Zwecke der vorliegenden Erfindung wird zusätzlich zu der Wasserstoffquelle in Form des Wasserstofftanks 36 eine Quelle einer Gas Mischung aus H_2 und N_2 vorgesehen in Form einer Tankanlage 100. Die Tankanlage 100 ist über eine Leitung 102, ein steuerbares Regelventil 104 mit Ein-/Ausschaltfunktion sowie eine weitere Leitung 106 mit dem Wasserstofftank 36 verbunden. Das Ventil 104 kann von einer externen Steuerung 108 angesteuert werden, und zwar über die Leitung 110. Die externe Steuerung 108 ist mit der internen Steuerung 48 des Brennstoffzellensystems über eine Leitung 112 verbunden, damit das Brennstoffzellensystem, auf einen Prüfstand montiert oder in einem Kraftfahrzeug oder in einem anderen Gerät eingebaut, unter Anwendung der von der Steuerung 48 kontrollierten Funktionen geprüft werden kann. Die externe Steuerung kann in Form eines mit entsprechenden Programmen ausgestatteten Rechners realisiert werden.

Die Leitung 114, die vom Ventil 104 zur Leitung 72 führt, ist eine alternative Möglichkeit, die Prüfgasmischung aus dem Tank 100 in das Brennstoffzellensystem einzuspeisen, d.h. die Leitung 114 stellt eine Alternative zu der Leitung 106 dar. Die Leitung könnte auch stromab des Ventils 44 oder an anderen Stellen der Anodenseite des Brennstoffzellensystems an dieser angeschlossen werden.

Im gestrichelten Kasten 120 wird eine Alternative für die Lieferung einer Gasmischung über eine Leitung 122 an das Ventil 104 gezeigt. Im Kasten

120 sind nämlich Wasserstoff- und Stickstoffquellen 124, 126 vorgesehen, mit jeweiligen Ventilen 128, 130 in Form von Regelventilen mit Ein- und Ausschaltfunktion, die über Steuerleitungen 132, 134 von der externen Steuerung 108 angesteuert werden können, um eine erwünschte Gas-
 5 Mischung aus H_2 und N_2 zu erzeugen. Diese Gas Mischung wird dann über die Leitung 122 dem Ventil 104 zugeführt, anstelle der Zuführung von der Tankanlage 100. Das in Kästchen 120 gezeigte Beispiel hat den besonderen Vorteil, dass man zunächst die Gas Mischung so einstellen kann, dass sie einen Brennstoffanteil H_2 von beispielsweise 5 % und einen Stickstoff-
 10 anteil N_2 von 95 % hat und daher unter der Zündfähigkeitsgrenze für diese Mischung in Luft liegt. Wenn die Leckageprüfungen abgeschlossen sind und dann feststeht, dass Leckagen nicht zu befürchten sind, so kann die Mischung stufenweise oder kontinuierlich verändert werden, um das Brennstoffzellensystem mit Gas Mischungen zu prüfen, die wohl oberhalb
 15 der zündfähigen Grenze liegen.

In der Zeichnung eingezeichnet sind ferner Wasserstoffdetektoren 116a bis 116i, die jeweilige Anschlüsse 118a bis 118i aufweisen, die an die externe Steuerung 108 angeschlossen sind. Somit kann der Sensor 116A
 20 Wasserstoffleckagen im Bereich des Ventils 104, der Tankanlage 100 bzw. der Mischanlage 120 detektieren. Der Sensor 116B kann Wasserstoffleckagen im Bereich des Wasserstofftanks 36 feststellen, wenn diese vor der Füllung mit Wasserstoff über die Leitung 106 mit der Gas Mischung von der Tankanlage 100 bzw. der Mischanlage 120 gefüllt wird. Der Sensor
 25 116C kann Leckagen im Bereich des Ablassventils 56 feststellen, wenn dieses geschlossen oder geöffnet ist. Der Sensor 116D ist am Kathodenausgang 20 des Brennstoffzellenstapels 12 angeordnet und kann dort auftretende Leckagen feststellen. Ferner kann der Sensor 116E Leckagen im allgemeinen Bereich der Anodenseite 16 des Brennstoffzellenstapels
 30 sowie im Bereich der Rezirkulationspumpe 60 feststellen. Der Sensor

118F kann Wasserstoffleckagen im Bereich des Anodeneingangs 18 bzw. im Bereich des Regelventils 44 feststellen. Der Sensor 116G ist so positioniert, dass er Leckagen im allgemeinen Bereich des Brennstoffzellenstapels 12 feststellen kann. Der Sensor 116H kann eventuell beim Kathoden-
 5 ausgang austretenden Wasserstoff detektieren, wenn solcher Wasserstoff aufgrund einer internen Leckage oder einer defekten Membran von der Anodenseite zu der Kathodenseite durchsickert. Entsprechend kann der Sensor 116I Wasserstoffleckagen feststellen, die zu Wasserstoffaustritten am Kathodeneingang 24 führen. Die angegebenen Sensoren sind lediglich
 10 beispielhaft angegeben. Weitere oder weniger Sensoren können je nach Bedarf an strategischen Stellen vorgesehen werden. Die angegebenen Sensoren oder weitere Sensoren können auch zum Detektieren von Inertgasleckagen ausgelegt werden, insbesondere, wenn ein Inertgas, außer Stickstoff, zur Anwendung gelangt. Die Anwendung von Sensoren für
 15 Stickstoff wäre deshalb problematisch, weil die Umgebungsluft zu etwa 80 % aus Stickstoff besteht.

Die Durchführung der Prüfung wird von der externen Steuerung 108 gesteuert. Beispielsweise kann die externe Steuerung 108 über die Leitung
 20 110 bzw. über die Leitungen 132 und 134 und das Ventil 104 die Gas Mischung in den Wasserstofftank 36 einführen oder über die Leitungen 114, 72 der Anodenseite des Brennstoffzellensystems zuführen. Dabei können alle anderen Ventile im System, wie beispielsweise das Ventil 56, über die
 25 Kopplung 112 mit der Steuerung 48 geschlossen werden, damit das Brennstoffzellensystem als abgeschlossen gilt, bis auf die Öffnung des Ventils 44, die notwendig ist, um die Prüfmischung der Anodenseite des Brennstoffzellensystems einzufüllen. Danach kann das Ventil 44 auch
 geschlossen werden und man kann sehen, ob der eingefüllte Prüfdruck mit der Zeit unzulässig nachlässt, beispielsweise über einen nicht gezeigten
 30 Drucksensor, der ebenfalls an die externe Steuerung 108 angeschlos-

sen ist. Um diese Prüfung sinnvoll durchzuführen ist, es auch unter Umständen angebracht, Ventile auf der Kathodenseite des Brennstoffzellenstapels 12 vorzusehen, damit die Eingänge und Ausgänge dort geschlossen sind. Eine andere Möglichkeit, die Leckage festzustellen, liegt darin, die Sensorsignale an den Sensoren 116A bis 116I auszuwerten, was von der externen Steuerung 108 durchgeführt wird. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, einen oder mehrere Sensoren manuell an allen zu erfassenden Stellen zu halten.

Bei einem Langzeittest können die verschiedenen vorgesehenen Ventile in einer bestimmten Reihenfolge oder nach einem bestimmten Muster geöffnet und geschlossen werden, um verschiedene Leckagefäden einzeln zu prüfen bzw. aus dem entstehenden Signalmuster von den Sensoren zu erfassen. Es soll an dieser Stelle zum Ausdruck gebracht werden, dass die gezeigten Ventile lediglich eine Auswahl der üblicherweise vorgesehenen Ventile darstellen, wobei alle solchen Ventile über entsprechende Steuerleitungen an die Steuerung 48 normalerweise angeschlossen sind.

Die Möglichkeit besteht ferner, die Leistungsabgabe über die Klemmen 32 und 34 von der externen Steuerung zu erfassen (diese wäre dann über die Steuerung 48 an die elektrischen Komponenten angeschlossen, die für die Aufbereitung und Verteilung der an den Klemmen 32 und 34 abgenommenen Leistung sorgen). Das heißt, die Möglichkeit besteht, das Brennstoffzellensystem bei der Inbetriebnahme zu prüfen, wodurch dann auftretende Leckagen ebenfalls von den Sensoren 116A bis 116I erfasst und von der externen Steuerung 108 ausgewertet werden können. Wenn sich die Inbetriebnahme als problemlos gestaltet, so kann mit einem erhöhten Durchsatz der Gasmischung gearbeitet werden, um zu sehen, ob das Brennstoffzellensystem die Leistung bringt, die bei den eingestellten Gasmischungen zu erwarten sind und es können dann über die zuvor er-

wähnten Zuordnungen, die beispielsweise in der externen Steuerung 108 gespeichert sind, Rückschlüsse gezogen werden, ob das Brennstoffzellensystem im normalen Betrieb funktionsfähig ist. Für solche Prüfungen kann es sinnvoll sein, wenn im normalen Betrieb eine Rezirkulation über die Rezirkulationspumpe 60 vorgesehen ist, die Rezirkulation durch ein
5 entsprechendes Ventil in der Leitung 58 zu unterbinden oder die Pumpe 60, die ebenfalls von der Steuerung 48 aus kontrolliert wird, bei einem anderen Durchsatz als im normalen Betrieb arbeiten zu lassen. Weiterhin besteht auch die Möglichkeit, das Brennstoffzellensystem aufzuwärmen, entweder durch eine externe Heizeinrichtung (nicht gezeigt) oder durch den Betrieb mit der Gasmischung, um die Prüfungen auch in erwärmten Zustand des Brennstoffzellensystems zu prüfen.

Sofern die Leckageprüfung und der Betrieb mit der Gasmischung erfolgreich abgeschlossen ist, kann bei Verwendung der Gasmischungszuführ-
15 einrichtung 120 durch Steuersignale der externen Steuerung 108 die Gasmischung stufenweise oder progressiv in Richtung einer Mischung gesteuert werden, die einen höheren Anteil an H_2 bzw. die vollständig aus H_2 besteht, gesteuert werden, um anschließend eine Leistungsprüfung vorzunehmen.

Sollte bei den durchgeführten Prüfungen die Sensoren 116A bis 116I anzeigen, dass eine Wasserstoffleckage vorhanden ist, so kann die externe Steuerung 108 die Wasserstoffzufuhr über das Ventil 104 sofort abbre-
25 chen, um nicht unnötige Mengen der Gasmischung austreten zu lassen. Das Brennstoffzellensystem muss dann entsprechend überholt werden, bevor eine erneute Prüfung stattfindet oder gar als funktionsuntüchtig klassifiziert und verschrottet werden.

Bei Prüfungen in Reparaturwerkstätten muss nicht unbedingt die gleiche Prüfung vorgenommen werden, wie auf einem Prüfstand im Herstellerwerk. Man kann aber die Prüfungen in der Werkstatt vornehmen, die dort angebracht erscheinen.

5

Da die externe Steuerung 108 die Einstellung und Öffnungszeit des Ventils 104 bzw. der Ventile 128, 130 bestimmt, kann der Durchsatz der Gasmischung von der Steuerung ermittelt werden, wobei auch eine getrennte Durchflussmesseinrichtung gegebenenfalls vorgesehen werden könnte, wie bei 140 in der Leitung 114 oder 142 in der Leitung 106 in gestrichelten Linien angedeutet, wobei die Durchflussmesseinrichtung 140 bzw. 142 an die externe Steuerung 108 anzuschließen wäre.

Eine solche Durchflussmesseinrichtung 140 bzw. 142 ist bei der Leckageprüfung nützlich. Man kann nämlich das Brennstoffzellensystem bis zu einem bestimmten Prüfdruck auffüllen und dann mit der Durchflussmesseinrichtung 140 bzw. 142 messen, ob Prüfgas nachströmt, um den Prüfdruck auf dem eingestellten Niveau zu halten. Ist die Kathodenseite des Brennstoffzellensystems offen, d.h. nicht mittels Ventilen abgeschlossen, so wird ein Durchfluss an Prüfgas entstehen aufgrund von Diffusion durch die Membrane. Die Höhe dieses Durchflusses soll aber einen charakteristischen Wert für das Brennstoffzellensystem nicht überschreiten. Das bedeutet aber auch, dass, wenn dieser Wert überschritten wird, ein Defekt vorliegt. Bei abgeschlossener Kathodenseite soll der gemessene Durchfluss auf Null gehen, wenn keine Leckagen vorhanden sind. Der Prüfdruck darf nicht so hoch sein, dass die Membrane beschädigt werden. Bei abgeschlossener Kathodenseite kann das Prüfgas der Kathodenseite ebenfalls zugeführt werden. Es wird dann keine Druckdifferenz über die Membrane geben, die diese beschädigen könnte. In diesem Fall sollte die Durchflussmesseinrichtung 140 bzw. 142 keinen Durchfluss beim Errei-

chen des Prüfdrucks zeigen. Die Prüfung kann auch zweifstufig durchgeführt werden. D.h. das Prüfgas wird der Anodenseite bei einem niedrigeren Prüfdruck zugeführt und der Durchfluss über die Durchflussmesseinrichtung 140 bzw. 142 gemessen. Ist dieser Durchfluss im zulässigen

- 5 Bereich, bedingt durch die Diffusion durch die Membrane, wird die Kathodenseite abgeschlossen und ebenfalls mit Prüfgas versorgt bis ein gleicher oder höherer Prüfdruck auf der Anodenseite und Kathodenseite erreicht ist und es wird dann ein etwaiger Durchfluss über die Durchflussmesseinrichtung 140 bzw. 142 gemessen, der dann gleich Null sein
10 soll.

- Es wäre auch möglich, entsprechende Durchflussmessgeräte bei den Eingängen und Ausgängen des Brennstoffzellensystems vorzusehen, um dann durch Summen- und Differenzbildung festzustellen, ob die austretenden Ströme der Gasmischung dem eintretenden Massenstrom entsprechen oder ob Differenzen vorliegen, die auf Leckagen schließen lassen.
15

Patentansprüche

5

1. Verfahren zur Untersuchung eines Brennstoffzellensystems bestehend aus mindestens einer Brennstoffzelle mit einer Anodenseite, der im Betrieb ein Brennstoff zugeführt wird und einer Kathodenseite, die von der Anodenseite durch eine Membran getrennt ist und der im Betrieb ein Oxidationsmittel zugeführt wird, um mindestens eine der nachfolgenden Prüfungen durchzuführen:

- a) zu prüfen, ob das Brennstoffzellensystem auf der Anodenseite und/oder auf der Kathodenseite gasdicht ist,
- b) zu prüfen, ob eine Leckage zwischen der Anodenseite und der Kathodenseite des Brennstoffzellensystems gegeben ist,
- c) das Anlassverhalten des Brennstoffzellensystems zu prüfen,
- d) den Betrieb des Brennstoffzellensystems bei niedriger Stromausbeute zu prüfen,

15

20

wobei die jeweilige Prüfung mit einer Mischung mindestens eines Inertgases mit mindestens einem für den Betrieb der Brennstoffzellen zulässigen Brennstoff durchgeführt wird, die der Anodenseite des Brennstoffzellensystems zugeführt wird und die Mischung so gewählt wird, dass der Anteil an Brennstoff unterhalb eines Wertes liegt, bei dem die Mischung in Luft entflammbar ist.

25

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Stickstoff für das Inertgas und Wasserstoff für den Brennstoff gewählt wird und die Mischung weniger als 5,7 vol-% bzw. mol-% Wasserstoff in Stickstoff enthält.

30

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei als Mischung Formiergas mit zumindest im Wesentlichen 95 % N_2 und 5 % H_2 verwendet wird.

5 4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei es in einer Umgebung mit normaler Luftatmosphäre durchgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei es in einer Umgebung mit normaler Belüftung durchgeführt wird.

10 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Prüfungen a), b), c) und/oder d) während bzw. nach der Herstellung eines das Brennstoffzellensystem als Antriebsquelle verwendenden Fahrzeugs durchgeführt werden, um die Betriebsfähigkeit des Fahrzeugs zum Zeitpunkt der Herstellung zu prüfen.

15 7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei es in einer Werkstatt nach Reparatur eines Brennstoffzellenfahrzeugs durchgeführt wird.

20 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Brennstoffzellensystem als Modul vorliegt, wobei die Prüfungen a), b), c) und/oder d) bereits bei der Herstellung des Brennstoffzellensystems vor dem Einbau des Moduls in ein Kraftfahrzeug oder in eine andere Installation durchgeführt werden.

25 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Prüfungen a), b), c) und/oder d) an einem Prüfstand bei der Entwicklung eines Brennstoffzellensystems durchgeführt werden.

30 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mehrere Brennstoffzellen zu einem Brennstoffzellenstapel zusammenge-

setzt sind und die Prüfung bzw. die Prüfungen am Brennstoffzellenstapel vorgenommen wird bzw. werden.

- 5 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei bei der Durchführung der Prüfung a) die Gasmischung bis zu einem vorgebbaren Prüfdruck, der beispielsweise bis zum Faktor 2 über dem vorgesehenen Betriebsdruck liegt, in das Brennstoffzellensystem durch einen vorgesehenen Eingang bei zeitgleichem oder vorherigem oder nachherigem Schließen aller sonstigen Ein- und Ausgänge, aus denen ein Austritt der Gasmischungen in Frage käme, eingefüllt und gemessen wird, ob der Prüfdruck als Funktion der Zeit unzulässig nachlässt.
- 15 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Gasmischung in das Brennstoffzellensystem eingespeist und die eingespeiste Gasmenge gemessen wird, alle relevanten ein- und ausschaltbaren Ventile sowie alle Regelventile nach einem vorgegebenen Muster bzw. in einer vorgegebenen Reihenfolge ein- und ausgeschaltet werden und die Summe der durch die vorgesehenen Leitungen aus dem Brennstoffzellensystem austretenden Gasmen-
20 gen gemessen und mit der eingespeisten Gasmenge verglichen wird, um etwaige Leckagen, die sich als Differenzwert darstellen, festzustellen.
- 25 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die zeitliche Entwicklung des Differenzwertes mit dem vorgesehenen Muster verglichen wird, um eventuell vorhandene Leckagen einer Leckagequelle oder mehreren Leckagequellen zuzuordnen.
- 30 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Brennstoffzellensystem bei der Durchführung der Prüfung oder vor

der Durchführung der Prüfung auf Betriebstemperatur bzw. auf eine maximal zulässige Übertemperatur erwärmt wird.

- 5 15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei bei der Entwicklung eines Brennstoffzellensystems mindestens ein Langzeittest unter Anwendung des Verfahrens durchgeführt wird.

- 10 16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei ein Langzeittest eine Vielzahl von Ein- und Ausschaltvorgängen von ein- und ausschaltbaren Ventilen sowie Regelwertänderungen von Regelventilen umfasst.

- 15 17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, wobei ein Langzeittest eine Vielzahl von Erwärmungen und Abkühlungen des Brennstoffzellensystems umfasst.

- 20 18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei eine Zuordnung entwickelt wird zwischen der vom Brennstoffzellensystem erzeugten elektrischen Leistung bei Zufuhr einer vorgegebenen Menge der Gasmischung an das Brennstoffzellensystem und der Leistungsabgabe des gleichen Brennstoffzellensystems bzw. eines Brennstoffzellensystems der gleichen Art bei Zufuhr der im Betrieb bei einem vorgegebenem Betriebspunkt oder bei mehreren vorgesehenen Betriebspunkten vorgesehenen Brennstoffmenge bzw. -
25 mengen, wobei geprüft wird, ob die bei Zufuhr der Gasmischung erzeugte Leistungsabgabe der erwarteten Leistungsabgabe entspricht, woraus geschlossen wird, dass im Betrieb bei Zufuhr der vorgesehenen Brennstoffmenge die gewünschte elektrische Leistung bei dem

vorgegebenem Betriebspunkt oder bei den vorgesehenen Betriebspunkten zu erwarten ist.

- 5 19. Verfahren nach Anspruch 18, wobei die Zuordnung für verschiedene zugeführte Mengen der Gasmischung geprüft wird und untersucht wird, ob die entsprechenden Werte der Leistungsabgabe darauf schließen lassen, dass das Brennstoffzellensystem im Betrieb bei verschiedenen Brennstoffzufuhrmengen an den jeweils erhofften Arbeitspunkten arbeiten wird.

- 10 20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 17, wobei eine Zuordnung entwickelt wird zwischen der vom Brennstoffzellensystem erzeugten elektrischen Leistung bei Zufuhr eines vorgegebenen Durchsatzes der Gasmischung an das Brennstoffzellensystem und der Leistungsabgabe des gleichen Brennstoffzellensystems bzw. eines Brennstoffzellensystems der gleichen Art bei Zufuhr des im Betrieb bei einem vorgegebenen Betriebspunkt oder bei mehreren vorgesehenen Betriebspunkten vorgesehenen Brennstoffdurchsatzes, wobei geprüft wird, ob die bei Zufuhr der Gasmischung erzeugte Leistungsabgabe der erwarteten Leistungsabgabe entspricht, woraus geschlossen wird, dass im Betrieb bei Zufuhr der vorgesehenen Brennstoffmenge die gewünschte elektrische Leistung bei dem vorgegebenen Betriebspunkt oder bei den vorgesehenen Betriebspunkten zu erwarten ist.

- 25 21. Verfahren nach Anspruch 20, wobei die Zuordnung für verschiedene zugeführte Durchsätze der Gasmischung geprüft wird und untersucht wird, ob die entsprechenden Werte der Leistungsabgabe darauf schließen lassen, dass das Brennstoffzellensystem im Betrieb

bei verschiedenen Brennstoffdurchsätzen an den jeweils erhofften Arbeitspunkten arbeiten wird.

- 5 22. Verfahren nach Anspruch 18, wobei bei der Prüfung mit der Zufuhr einer vorgegebenen Menge einer Gasmischung bewusst eine andere Arbeitsweise gewählt wird als im Betrieb mit der vorgesehenen Brennstoffmenge für den entsprechenden Arbeitspunkt, beispielsweise, dass während des Betriebs eine Rezirkulation des zugeführten Brennstoffs auf der Anodenseite vorgenommen wird, bei der Prüfung aber keine solche Rezirkulation stattfindet.
- 15 23. Verfahren nach Anspruch 20 oder 21, wobei bei der Prüfung mit einem vorgegebenen Durchsatz einer Gasmischung bewusst eine andere Arbeitsweise gewählt wird als im Betrieb mit der vorgesehenen Durchsatz für den entsprechenden Arbeitspunkt, beispielsweise, dass während des Betriebs eine Rezirkulation des zugeführten Brennstoffs auf der Anodenseite vorgenommen wird, bei der Prüfung aber keine solche Rezirkulation stattfindet.
- 20 24. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei nach erfolgreich abgeschlossener Prüfung mit der Gasmischung der Anteil an Brennstoff erhöht wird und eine erneute Prüfung durchgeführt wird, beispielsweise, ob eine höhere oder die volle Leistungsabgabe des Brennstoffzellensystems ohne Inertgasanteil oder bei deutlich oder progressiv reduziertem Inertgasanteil erreichbar ist.
- 25 25. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens ein Brennstoffsensor und/oder ein Inertgassensor verwendet wird, um etwaige Leckagen der Gasmischung festzustellen.

26. Vorrichtung zur Untersuchung eines Brennstoffzellensystems bestehend aus mindestens einer Brennstoffzelle mit einer Anodenseite, der im Betrieb ein Brennstoff zugeführt wird und einer Kathodenseite, die von der Anodenseite durch eine Membran getrennt ist und der im Betrieb ein Oxidationsmittel zugeführt wird, um mindestens eine der nachfolgenden Prüfungen durchzuführen:

- a) zu prüfen, ob das Brennstoffzellensystem auf der Anodenseite und/oder Kathodenseite gasdicht ist,
- b) zu prüfen, ob eine Leckage zwischen der Anodenseite und der Kathodenseite des Brennstoffzellensystems gegeben ist,
- c) das Anlassverhalten des Brennstoffzellensystems zu prüfen,
- d) den Betrieb des Brennstoffzellensystems bei niedriger Stromausbeute zu prüfen, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche,

wobei die Vorrichtung aus folgenden Bauteilen besteht: aus einer Einrichtung, die eine Mischung mindestens eines Inertgases mit mindestens einem für den Betrieb der Brennstoffzelle(n) zulässigen Brennstoff liefert, aus einer Anschlussleitung, die von dieser Einrichtung zu einem Einlass auf der Anodenseite der Brennstoffzelle(n) führt und aus einer Einrichtung, die ermittelt, ob die Gasmischung in unzulässiger Weise entweicht.

27. Vorrichtung nach Anspruch 26, wobei die Einrichtung zur Lieferung der Gasmischung zur Lieferung einer Mischung aus Stickstoff für das Inertgas und Wasserstoff für den Brennstoff ausgelegt ist und die Mischung weniger als 5,7 vol% bzw. mol% Wasserstoff in Stickstoff enthält.

28. Vorrichtung nach Anspruch 26 oder 27, wobei die Einrichtung zur Lieferung von Formiergas mit zumindest im Wesentlichen 95% N₂ und 5% H₂ ausgelegt ist.

5

29. Vorrichtung nach Anspruch 23, wobei die Einrichtung, die ermittelt, ob die Gasmischung aus dem Brennstoffzellensystem entweicht, aus einem Steuersystem besteht, das sämtliche Eingänge und Ausgänge des Brennstoffzellensystems gleichzeitig oder in einer vorgegebenen Reihenfolge schließt und aus einem Drucksensor oder mehreren Drucksensoren, der prüft bzw. die prüfen, ob ein vorgegebener Fülldruck der Gasmischung auf der Anodenseite des Brennstoffzellensystems unzulässig nachlässt bzw. ob der zeitliche Druckverlauf von einem vorgegebenen Druckverlaufprofil nachlässt.

15

30. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 29, wobei eine Einrichtung vorgesehen ist zur Messung bzw. Bestimmung des in den Brennstoffzellensystem eingespeisten Massenstromes der Gasmischung, wobei ferner eine Steuerung vorgesehen ist zum Betätigen aller Ein- und Ausschaltventile bzw. aller Regelventile des Brennstoffzellensystems nach einem vorgesehenen Muster bzw. in einer vorgegebenen Reihenfolge sowie Einrichtungen zum Messen der aus den Ventilen austretenden Massenströme und eine Einrichtung zum Vergleichen des eingehenden Massenstromes mit den austretenden Massenströmen, um etwaige Differenzwerte festzustellen, die auf Leckagen schließen lassen.

25

31. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 26 bis 30, gekennzeichnet durch eine Heizvorrichtung zum Aufheizen des Brennstoffzellenstapels auf eine Betriebstemperatur.

30

32. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche 26 bis 31,
gekennzeichnet durch eine Einrichtung, die mindestens einen vor-
bestimmten Durchsatz der Gasmischung durch die Anodenseite des
Brennstoffzellensystems bestimmt, der einem Arbeitspunkt des
Brennstoffzellensystems mit reinem Brennstoff oder mit einer ande-
ren Gasmischung entspricht, durch eine Einrichtung zur Bestim-
mung der Leistungsabgabe des Brennstoffzellensystems bei dem
vorbestimmten Durchsatz der Gasmischung und durch eine Aus-
wertungseinrichtung, um die Leistungsabgabe des Brennstoffzellen-
systems mit einem vorgegebenen Wert oder Wertbereich zu verglei-
chen, der der Leistungsabgabe bei dem Arbeitspunkt zugeordnet ist.

33. Vorrichtung nach Anspruch 32,
dadurch gekennzeichnet,
dass die den Durchsatz bestimmende Einrichtung ausgelegt ist,
mehrere unterschiedliche Durchsätze einzustellen und dass die
Auswerteeinrichtung die Leistungsabgabe bei den verschiedenen
Durchsätzen den Leistungsabgaben bei den entsprechenden Ar-
beitspunkten zuordnet.

34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 26 bis 32,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Einrichtung zur Lieferung einer Gasmischung ausgelegt ist,
um verschiedene erwünschte Anteile an Brennstoff in der Gasmi-
schung einzustellen und dass eine Steuereinrichtung vorgesehen
ist, um nach erfolgreicher Prüfung mit einer Gasmischung die un-
terhalb der Zündfähigkeit der Mischung in Luft liegt, den Anteil an
Brennstoff zu erhöhen und eine erneute Prüfung der Leistungsab-
gabe vorzunehmen.

Zusammenfassung

5

Ein Verfahren bzw. eine Vorrichtung zur Untersuchung eines Brennstoffzellensystems bestehend aus mindestens einer Brennstoffzelle mit einer Anodenseite, der im Betrieb ein Brennstoff zugeführt wird und einer Kathodenseite, die von der Anodenseite durch eine Membran getrennt ist und der im Betrieb ein Oxidationsmittel zugeführt wird, ist ausgelegt, um mindestens eine der nachfolgenden Prüfungen durchzuführen:

10

- a) zu prüfen, ob das Brennstoffzellensystem auf der Anodenseite und/oder Kathodenseite gasdicht ist,
- b) zu prüfen, ob eine Leckage zwischen der Anodenseite und der Kathodenseite des Brennstoffzellensystems gegeben ist,
- c) das Anlassverhalten des Brennstoffzellensystems zu prüfen,
- d) den Betrieb des Brennstoffzellensystems bei niedriger Stromausbeute zu prüfen.

15

Die jeweilige Prüfung wird mit einer Mischung mindestens eines Inertgases mit mindestens einem für den Betrieb der Brennstoffzellen zulässigen Brennstoff durchgeführt, die der Anodenseite des Brennstoffzellensystems zugeführt wird. Die Mischung wird so gewählt, dass der Anteil an Brennstoff unterhalb eines Wertes liegt, bei dem die Mischung in Luft entflammbar ist

20

25

